

УДК 656.7.072 (045)

0585.02548 661.3 + 49(54em)375.0-934

С.О. Дмитрієв, І.А. Терейковський, Альгабрі Табіт Махді Яхья

ОПТИМІЗАЦІЯ ЧЕРГИ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЛІТАКІВ ЗАТРИМАНИХ РЕЙСІВ АЕРОПОРТУ САНА

Розглянуто питання оптимізації черговості обслуговування затриманих повітряних суден в аеропорту Сана (Республіка Йемен) при перебоях внаслідок скупчення затриманих повітряних суден. Наведено приклад практичного розрахунку оптимальної черги обслуговування для реальної ситуації.

Основу приписного парку пасажирських літаків національної авіакомпанії Республіки Йемен складають літаки Б-727, Б-737, А-310 та Ан-24. Базовий аеропорт авіакомпанії знаходиться в м. Сані – столиці Республіки Йемен. Навантаження аеропорту Сана в залежності від сезону становить 15–19 рейсів за добу, причому середнє навантаження рейсу складає біля 100 пасажирів.

Як і для багатьох авіакомпаній світу, однією з найбільш важливих задач національної авіакомпанії Республіки Йемен є мінімізація втрат від порушення розкладу вильотів літаків внаслідок поганих метеоумов. Проведений аналіз показує, що вирішення цієї задачі в багатьох випадках зводиться до вирішення задачі оптимального управління чергою обслуговування і випуску затриманих повітряних суден [1;2]. Оптимізацію рекомендується проводити за вартісним критерієм на інтервалі часу $(t_0, t_0 + \tau)$, де t_0 – момент відкриття аеропорту, τ – інтервал часу, на якому відновлюється рух літаків за розкладом [1;2]. За вартісний критерій можна прийняти сумарні вартісні втрати авіакомпанії, пов'язані з усуненням наслідків затримок рейсів. Причому необхідно зважати тільки на ті втрати, які змінюються при зміні черги вильотів літаків затриманих рейсів.

Методологія оптимального управління чергою обслуговування літаків затриманих рейсів, яка покладена в основу розробленої математичної моделі та її комп'ютерної реалізації, базується на твердженні, що задача управління чергою обслуговування літаків затриманих рейсів відноситься до класу задач динамічного програмування й дозволяє використати принцип оптимальності Беллмана [3]. Оптимальна поведінка має таку властивість, що, які б не були початковий стан і управління, наступні управління повинні бути оптимальними відносно стану, який є результатом першого управління.

Таким чином, вирішення задачі оптимізації черги обслуговування літаків затриманих рейсів являє собою багатокроковий процес розрахунку розподілу ресурсів (комплексних бригад передпольотної підготовки), де управляючою дією є призначення на обслуговування чергового літака. Кроком, після якого знову проводиться розподіл бригад і обслуговується черговий літак, є термін передпольотного обслуговування. Кількість кроків розрахунку збігається з кількістю затриманих літаків. При цьому обслуговування літака, який першим вилітає, закінчується до моменту відкриття аеропорту. Час фактичного вильоту рейсу $T_{ф.в}$ можна розрахувати таким чином.

$$T_{ф.в} = t_0 + (n - 1) T_{т.о}, \quad (1)$$

де n – кількість затриманих рейсів; $T_{т.о}$ – час передпольотного обслуговування.

Стан об'єкта управління (черги обслуговування літаків затриманих рейсів) на кожному кроці можна охарактеризувати кількістю залишившихся на обслуговуванні літаків в початковий момент часу.

Всі затримані рейси повинні бути обслужені. Втрати, які накопичуються за час обслуговування всіх літаків, це сума вартісних втрат за всі окремі кроки. Серед всіх рейсів треба

відібрати той рейс, який пов'язаний з мінімальним приростом втрат на останньому кроці. Цей рейс повинен обслуговуватися останнім. Потім розраховується рейс з мінімальним приростом втрат на передостанньому кроці і обслуговується передостаннім. Така процедура продовжується до розрахунку рейсу, який буде обслуговуватися першим.

Початковими даними оптимізації є час закриття та відкриття аеропорту, характеристики затриманих рейсів (номер рейсу, маршрут, час вильоту T_v , час прибуття T_n , вартість квитків C_6), характеристики літаків (вартість льотної години $C_{л/ч}$, термін передпольотного технічного обслуговування $T_{т.о.}$), кількість комплексних бригад передпольотного обслуговування, кількість пасажирів K_n , вартість компенсації, яку виплачують пасажиром через затримки рейсу C_k , інтервал часу затримки рейсу, після якого пасажир починає здавати квитки T_k і інтенсивність здачі квитків I_k [3]. Джерелом початкових даних можуть бути розклад руху літаків і відповідна технічна документація. Інші початкові дані необхідно розрахувати на основі обробки відповідної статистики.

Апробація поданої моделі проведена при оптимізації управління чергою затриманих рейсів аеропорту Сана. Початкові дані для оптимізації наведені в табл. 1. Як початкові дані використані реальний розклад руху літаків аеропорту Сана і статистичні дані, зібрані автором в аеропорту Сана в 1998–2000 рр. Маршрути Джібуті, Альдуха, Париж є закордонними, а Таоз, Альрян і Аден – внутрішніми. Різниця між ними полягає в тому, що на внутрішніх маршрутах компенсація пасажиром через затримки рейсу не виплачується, а на закордонних маршрутах компенсація прийнята 40 доларів за одну годину затримки рейсу.

Таблиця 1

Початкові дані моделювання

Номер рейсу	Маршрут	Час вильоту T_v	Вартість, дол		Кількість пасажирів K_n
			льотної години $C_{л/т}$	квитка C_R	
1	Джібуті	7.00	2 500	175	119
2	Альдуха	7.45	2 400	540	148
3	Таоз	8.15	2 400	20	148
4	Альрян	11.00	2 400	50	148
5	Париж	11.15	2 800	132	120
6	Аден	12.00	2 500	250	148

Для всіх рейсів прийнято, що час затримки рейсу, після якого пасажир починає здавати квитки, дорівнює 2 год, інтенсивність здачі квитків – 0,3, термін передпольотного технічного обслуговування – 45 хв, час закриття аеропорту – 6.00, відкриття – 14.00. Термін закритого стану аеропорту складає 8 год. Для спрощення розрахунків прийнято, що передпольотне технічне обслуговування проводить тільки одна комплексна бригада.

Запропонованою методикою оптимізації на основі розглянутих початкових даних проведена оптимізація черги вильотів затриманих рейсів, результати якої наведені в табл. 2, 3.

Основою оптимізації є матриці вартісних втрат і приросту вартісних втрат від затримок рейсів на кожному кроці розрахунку, кількість яких дорівнює шести. Крок розрахунку дорівнює 45 хв, тобто терміну передпольотного технічного обслуговування. Фрагмент цієї матриці для п'ятого кроку розрахунку наведений в табл. 2.

Як видно з табл. 2, на останньому кроці розрахунку є два рейси з однаковим значенням приросту вартісних втрат: № 3 (Таоз) і № 4 (Альрян). Але для рейсу № 4 вартісні втрати менші, через те цей рейс необхідно обслужити останнім (шостим) в черзі. Згідно з формулою (1) час вильоту цього рейсу дорівнює 16.45. При розгляді п'ятого кроку розрахунку на рейс №4 вже не треба зважати

Розраховані таким чином показники оптимальної черги вильотів літаків наведені в табл. 3.

Таблиця 2

Вартісні втрати затриманих рейсів на шостому кроці розрахунку

Номер рейсу	Маршрут	Втрати, дол.	Приріст втрат, дол.
1	Джібуті	98 870	5 445
2	Альдуха	163 120	6 240
3	Таоз	25 760	1 800
4	Альрян	23 600	1 800
5	Париж	207 800	5 700
6	Аден	18 075	2 245

Таблиця 3

Оптимальна черга обслуговування літаків затриманих рейсів

Фактичний номер вильоту	Номер рейсу за розкладом	Маршрут	Фактичний час вильоту, год
1	2	Альдуха	13.00
2	5	Париж	13.45
3	1	Джібуті	14.30
4	6	Аден	15.15
5	3	Таоз	16.00
6	4	Альрян	16.45

Таким чином, оптимальна черга обслуговування літаків затриманих рейсів № 2, 5, 1, 6, 3, 4.

Для розрахунку ефективності запропонованої методики оптимізації проведено порівняння сумарних вартісних втрат при оптимальній U_0 і неоптимальній U_n черзі обслуговування літаків затриманих рейсів (табл. 4).

Таблиця 4

Порівняння сумарних втрат

Неоптимальна черга обслуговування літаків	U_n	U_n / U_0	$U_n - U_0$
Рейси № 1, 2, 3, 4, 5, 6	452 155	1,77	197 138
Рейси № 6, 5, 4, 3, 2, 1	397 140	1,56	142 123
Рейси № 5, 2, 1, 6, 3, 4	335 210	1,32	80 193
Рейси № 3, 2, 1, 4, 5, 6	427 445	1,68	222 428
Рейси № 4, 3, 6, 1, 5, 2	494 302	1,94	239 285

Аналіз даних в табл. 4, показує, що при початкових даних, які відповідають умовам аеропорту Сана, використання запропонованої методики оптимізації дозволяє зменшити в два рази сумарні вартісні втрати через затримки рейсів.

Проведені експерименти розрахунку характеристик оптимальної черги обслуговування літаків затриманих рейсів пов'язані зі зміною терміну відкриття аеропорту. Розглянуто випадки відкриття аеропорту о 13,15,16 та 17 год. Інші початкові дані залишилися без змін. Результати розрахунків наведені в табл. 5. Для прийнятих початкових даних зміна терміну відкриття аеропорту не викликає зміни оптимальної черги обслуговування літаків затриманих рейсів. При цьому сумарні вартісні втрати затриманих рейсів збільшуються прямо пропорційно терміну відкриття аеропорту.

Таблиця 5

**Характеристики оптимальної черги обслуговування літаків
для різних термінів відкриття аеропорту**

Час відкриття, год	Оптимальна черга обслуговування літаків	Сумарні втрати, дол.
13.00	Рейси № 2, 5, 1, 6, 3, 4	227 655
14.00	Рейси № 2, 5, 1, 6, 3, 4	255 017
15.00	Рейси № 2, 5, 1, 6, 3, 4	291 739
16.00	Рейси № 2, 5, 1, 6, 3, 4	320 589
17.00	Рейси № 2, 5, 1, 6, 3, 4	366 527

Таким чином, для аеропорту Сана використання запропонованої методики оптимізації дозволяє в два рази зменшити сумарні вартісні втрати через затримки рейсів. Для умов аеропорту Сана зміна часу відкриття аеропорту в інтервалі від 1 до 5 год не впливає на оптимальну чергу обслуговування літаків затриманих рейсів.

Список літератури

1. Анодина Т.Г., Кузнецов А.А. Автоматизация управления воздушным транспортом. – М.: Знание, 1984. – 64 с.
2. Саркисян С.А. Теория прогнозирования и принятия решений. – М.: Высш. шк., 1977. – 350 с.
3. Coming to terms with D&C&A Aircraft Technology Engineering & Maintenance. – Dec. 1998. – Jan. 1999. – P. 38 – 42.

Стаття надійшла до редакції 19.03.01.

УДК 629.735.036.001.57

ББК 055.143-082.051-016 8041.0

А.В. Тарасенко, В.В. Якименко
О.С. Чорній, В.М. Степаненко

**ДІАГНОСТИЧНА МОДЕЛЬ
ТУРБОРЕАКТИВНОГО ДВОКОНТУРНОГО ДВИГУНА Д-30КП**

Наведено неявну діагностичну модель турбореактивних двоконтурних двигунів Д-30КП для оцінки їхнього технічного стану за даними, одержаними під час польоту. Запропоновано математичну модель, яка описує справний технічний стан турбореактивного двоконтурного двигуна Д-30КП, та формули для розрахунку діагностичних нев'язок.

Значна кількість грузових перевезень в Україні та за її межами виконується на сьогодні літаками Ил-76 з двигунами Д-30КП різних модифікацій. Аналіз стану парку двигунів свідчить про те, що більшість з них мають напрацювання, близьке до призначених ресурсів, а деякі з них мають чималі запаси ресурсів, але календарні терміни їхньої експлуатації вже перевищили встановлені межі.

Ринкові умови господарювання стимулюють авіакомпанії експлуатувати авіаційну техніку до вичерпання дійсних ресурсних можливостей, отримати від експлуатації авіаційної техніки максимальний прибуток. Однак при цьому необхідно дотримуватися вимог щодо забезпечення безпеки польотів.

Двигуни Д-30КП мають низький рівень контролепридатності і розраховані на експлуатацію до відпрацювання призначеного ресурсу в межах встановленого календарного терміну експлуатації з контролем технічного стану (ТС) під час технічного обслуговування. Аналіз існуючої системи оцінки ТС двигунів Д-30КП свідчить про те, що всі методи і засоби діагно-